



Efecto electroquímico en los factores fisicoquímicos del efluente del camal municipal de Anta, Cusco, Perú

Electrochemical effect on the physicochemical factors of the effluent from the Anta municipal slaughterhouse, Cusco, Peru

Efeito eletroquímico sobre os fatores físico-químicos do efluente do matadouro municipal de Anta, Cusco, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL

Juan Carlos Ticona Flores

191096@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0413-464X>

Universidad Nacional San Antonio Abal del Cusco, Cusco - Perú

Luis Miguel Condori Ccama

luiscondoricc1@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-4479-7934>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Silverio Fischer Condori Chino

silverio.condori@edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-3138-7538>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Joel Kedin Condori Ccama

joelito.jkcccg@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-8047-3920>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Recibido 10 de Diciembre 2025 | Arbitrado y aceptado 15 de Diciembre 2025 | Publicado el 18 de Enero 2026

RESUMEN

[Introducción]: Los parámetros fisicoquímicos como: la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del efluente del camal municipal de Anta son modificadas en sus valores iniciales cuando estas aguas son sometidas a la tensión eléctrica. [Objetivo]: Determinar el efecto electroquímico en los factores fisicoquímicos del efluente del camal municipal de Anta, Cusco, Perú. [Metodología]: se construyó el sistema electrolítico (fuente de tensión, electrodos, celda electrolítica), se tomaron muestras del efluente, se sometió las muestras al sistema electrolítico, se analizaron las muestras del agua residual tratado [Resultados]: Los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH son distintos para cada nivel de tensión eléctrica, así mismo los niveles de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH tiende a incrementar en un rango dentro de los primeros 60 minutos por cada nivel de tensión. Con la excepción de que para la turbidez sus niveles tienden a disminuir a medida que tiempo transcurre y los niveles de tensión se incrementan. [Conclusiones]: Los valores observados en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta, han presentado variaciones para diferentes niveles de tensión del sistema electroquímico. Los niveles de la temperatura y pH de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta, incrementan independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico. Los niveles de la conductividad eléctrica de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta, disminuyen independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico. Los niveles de la turbidez de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta, incrementan hasta un máximo luego tienden a descender a niveles inferiores e independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico.

Palabras claves: agua residual, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, turbidez, tensión eléctrica

ABSTRACT

[Introduction]: The physicochemical parameters such as: temperature, electrical conductivity, turbidity and pH of the effluent from the municipal slaughterhouse of Anta are modified in their initial values when these waters are subjected to electrical voltage. [Objective]: To determine the electrochemical effect on the physicochemical factors of the effluent from the municipal slaughterhouse of Anta, Cusco, Peru. [Methodology]: The electrolytic system (voltage source, electrodes, electrolytic cell) was built, samples of the effluent were subjected to the electrolytic system, and samples of the treated wastewater were analyzed. [Results]: The levels of temperature, electrical conductivity, turbidity and pH are different for each level of electrical voltage, likewise the levels of temperature, electrical conductivity, turbidity and pH tend to increase in a range within the first 60 minutes for each level of voltage. With the exception that for turbidity its levels tend to decrease as time passes and the voltage levels increase. [Conclusions]: The observed values for temperature, electrical conductivity, turbidity, and pH of the wastewater samples from the Anta municipal slaughterhouse have shown variations for different voltage levels of the electrochemical system. The temperature and pH levels of the wastewater samples from the Anta municipal slaughterhouse increase independently for each voltage level within a period of 60 minutes once subjected to the electrochemical system. The electrical conductivity levels of the wastewater samples from the Anta municipal slaughterhouse decrease independently for each voltage level within a period of 60 minutes once subjected to the electrochemical system. The turbidity levels of the wastewater samples from the Anta municipal slaughterhouse increase up to a maximum, then tend to decrease to lower levels, independently for each voltage level within a period of 60 minutes once subjected to the electrochemical system.

Keywords: wastewater, electrical conductivity, hydrogen potential, turbidity, electrical voltage

RESUMO

[Introdução]: Os parâmetros físico-químicos, como temperatura, condutividade elétrica, turbidez e pH do efluente do matadouro municipal de Anta, são modificados em relação aos seus valores iniciais quando essa água é submetida a tensão elétrica. [Objetivo]: Determinar o efeito eletroquímico sobre os fatores físico-químicos do efluente do matadouro municipal de Anta, Cusco, Peru. [Metodologia]: Um sistema eletrolítico foi construído (fonte de tensão, eletrodos, célula eletrolítica), amostras do efluente foram coletadas, submetidas ao sistema eletrolítico e as amostras de efluente tratado foram analisadas. [Resultados]: Os níveis de temperatura, condutividade elétrica, turbidez e pH variam para cada nível de tensão elétrica. Além disso, os níveis de temperatura, condutividade elétrica, turbidez e pH tendem a aumentar dentro de uma determinada faixa durante os primeiros 60 minutos para cada nível de tensão. A exceção é que os níveis de turbidez tendem a diminuir com o passar do tempo e o aumento dos níveis de tensão. [Conclusões]: Os valores observados para temperatura, condutividade elétrica, turbidez e pH nas amostras de águas residuais do matadouro municipal de Anta apresentaram variações para diferentes níveis de tensão do sistema eletroquímico. Os níveis de temperatura e pH das amostras de águas residuais do matadouro municipal de Anta aumentaram independentemente para cada nível de tensão durante um período de 60 minutos após serem submetidas ao sistema eletroquímico. Os níveis de condutividade elétrica das amostras de águas residuais do matadouro municipal de Anta diminuíram independentemente para cada nível de tensão durante um período de 60 minutos após serem submetidas ao sistema eletroquímico. Os níveis de turbidez das amostras de águas residuais do matadouro municipal de Anta aumentaram até um máximo e, em seguida, tenderam a diminuir para níveis mais baixos, independentemente para cada nível de tensão durante um período de 60 minutos após serem submetidas ao sistema eletroquímico.

Palavras-chave: águas residuais, condutividade elétrica, potencial de hidrogênio, turbidez, tensão elétrica

1. Introducción

La aplicación de la electroquímica en el tratamiento de las aguas residuales se ha establecido como un conjunto de tecnologías versátiles y eficientes, que permiten disminuir los diversos contaminantes presentes en el agua residual producidos por las actividades antrópicas. Y para ello, la electroquímica emplea hierro o aluminio denominados electrodos, las cuales al entrar en reacción, generan coagulantes, permitiendo de esta manera eliminar los coloides, sólidos suspendidos, metales pesados, sin necesidad de introducir sustancias ajenas (Mollah *et al.*, 2001; Chen, 2004; Holt *et al.*, 2005). De la misma manera las sustancias orgánicas recalcitrantes son oxidados gracias a los radicales hidroxilos generados por las reacciones internas producidos en la superficie del ánodo, teniendo así la capacidad para degradar compuestos no biodegradables y tóxicos (Comninellis 1994; Brillas *et al.*, 2009; Añizares *et al.*, 2009; Martínez-Huitle *et al.*, 2015). Por consiguiente, la diferencia de potencial influye directamente en la remoción de la turbidez del agua residual, donde el incremento del voltaje hace que la reacción interinas entre los catodos se intensifique produciendo mayor presencia de iones de Fe^{2+} , Fe^{3+} y Al^{3+} , que permiten la coagulación con la formación de flóculos al mismo tiempo, se presenta hidrogeno y oxígeno en los cátodos los que permiten la flotación de flóculos, disminuyendo la presencia de partículas coloidales y de esta manera reduce la turbidez del agua residual (García-García *et al.*, 2018; Hakizimana *et al.*, 2017). Lo contrario sucede cuando se incrementa el voltaje a niveles superiores, el cual provoca que las soluciones presentes se separan más en sustancias más pequeñas el cual provoca la eficiencia del proceso (Chen, 2004; Mollah *et al.*, 2004). Por lo tanto, es fundamental optimizar el voltaje para equilibrar la máxima remoción de turbidez con un consumo energético sostenible (Kobyas *et al.*, 2003; Daneshvar *et al.*, 2004; Bazrafshan *et al.*, 2015).

No obstante, la tensión eléctrica también influye en la conductividad eléctrica del agua residual, es así que a incrementos de la tensión eléctrica, se presenta radicales hidroxilos, permitiendo la aparición de iones metálicos originados en los electrodos, incrementando de esta manera la conductividad eléctrica del medio (Barrera-Díaz *et al.*, 2014; Martínez-Huitle & Brillas, 2009). Asimismo, la intensidad de corriente asociada a la tensión aplicada afecta directamente el grado de electrólisis y, por ende, la concentración de especies iónicas (Panizza & Cerisola, 2009). Estas tensiones mayores

incrementan la conductividad eléctrica, gracias a la liberación de electrolitos dadas usualmente en celdas monopolares o bipolares (Cañizares *et al.*, 2009; dos Santos *et al.*, 2016). Por otra parte, el incremento de la tensión no solo afecta a los niveles de la conductividad eléctrica sino que existe una eficiencia gracias a la composición de la misma agua residual (Radjenovic & Sedlak, 2015; Oturan & Aaron, 2014).

Sin embargo, la tensión eléctrica, tiene efecto directo en los niveles del potencial de hidrogeniones (pH) del agua residual, ya que modula la generación o consumo de especies ácidas y básicas en el entorno tratado. Al aplicar una diferencia de potencial, ocurren reacciones de electrólisis que pueden liberar protones (H^+) en el ánodo o hidroxilos (OH^-) en el cátodo, alterando significativamente el pH del agua residual (Barrera-Díaz *et al.*, 2014; Martínez-Huitle & Brillas, 2009). El incremento de la acidez y basicidad del agua está en relación directa con el aumento de la tensión eléctrica, y las sustancias con radicales oxidantes e especies intermedias (Panizza y Cerisola, 2009; Oturan y Aaron, 2014), a la vez las celdas electroquímicas bipolares el aumento de tensión puede inducir una mayor disociación del agua, impactando el equilibrio ácido-base del sistema (Cañizares *et al.* (2009). Asimismo, las sustancias orgánicas tienen comportamiento de amortiguadores químicos, donde estos condicionan la magnitud de cambio de pH inducido por la tensión aplicada, es así que un control inadecuado del voltaje puede derivar en extremos de pH, (dos Santos *et al.*, 2016). A niveles de pH bajos, los cuales afecta a los procesos de tratamiento ya que presentan corrosión. Por tanto, la aplicación de voltaje a un medio ácido regula el pH del medio (Radjenovic y Sedlak, 2015).

Por otro lado, la temperatura de las aguas residuales presenta cambios a incrementos de voltaje, gracias a la transformación de energía eléctrica a energía térmica, por lo que una mayor tensión induce una mayor generación de calor (Barrera-Díaz *et al.*, 2014; Panizza & Cerisola, 2009), y a la vez favorece la cinética de las reacciones electroquímicas, como evaporación y cambios fisicoquímicos internos del agua residual (Martínez-Huitle y Brillas, 2009), señalan que, en procesos prolongados, especialmente bajo tensiones elevadas, se puede observar un ascenso térmico significativo que compromete la estabilidad de ciertos contaminantes y la integridad de los electrodos (Cañizares *et al.*, 2009; dos Santos *et al.*, 2016). El incremento de la temperatura mejora proceso de oxidación indirecta, aunque puede acelerar procesos no

deseados, como la descomposición de radicales (Oturán y Aaron, 2014). Por su parte, alertan que el control de la temperatura es crucial para evitar pérdidas energéticas y mantener un rendimiento constante (Radjenovic y Sedlak, 2015), la tensión eléctrica no solo impulsa las reacciones deseadas, sino que también determina el perfil térmico del tratamiento, afectando su eficiencia y sostenibilidad (Khalid *et al*, 2018).

2. Objetivos

2.1. Objetivo general.

Determinar el efecto electroquímico en factores fisicoquímicos del efluente del camal municipal de Anta, Cusco, Perú.

2.2. Objetivos específicos.

Verificar el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual del camal municipal de Anta.

Verificar el comportamiento de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual del camal municipal de Anta en la línea del tiempo a diferentes niveles de tensión.

3. Metodología

3.1. Toma de muestras de aguas residual para su caracterización.

Las muestras se tomaron de acuerdo a al plan de “muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento” de la DIGESA, en el punto de vertimiento; que tiene las coordenadas WGS-84; Este: 808283.09, Norte: 8509880.07, zona 19L, la toma de muestra ser realizo entre las 10:00 am a 11:00 am, horario con mayor flujo de agua residual, la Tabla 1, presenta los resultados obtenidos de las medidas de los parámetros en estudio.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos tomados en el punto de vertimiento.

Parámetros	Hora	Observaciones	Promedio
Fisicoquímicos			
Temperatura (°C)	10:15 am	11;12;13	12
Turbidez (UNT)	10:25 am	651; 652; 651	651
pH	10:35 am	6,6; 6,7; 6,7	6,7
Conductividad Eléctrica ($\mu S/cm$)	10:40 am	315; 315; 315	315

3.2. Construcción del sistema de la celda electrolítica

3.2.1. Construcción de la celda electrolítica

La celda electrolítica tubo dimensiones de 15 cm de ancho, 20 cm de largo y 12 cm de alto, con una capacidad de 3 600 cm^3 , el material que se empleo fue de vidrio, el recipiente tubo un agujero de 1 pulgada para la extracción de las muestras luego de su tratamiento.

3.2.2. Preparación de los electrodos y soporte de electrodos

Los electrodos fueron preparados a partir acero inoxidable de 1,2 mm de espesor, la elección fue por la capacidad de soportar a la corrosión, las dimensiones de los electrodos fueron 5 cm de ancho y 15 cm de largo, el número de electrodos fue 4 pares. Por otro lado, los soportes de los electrodos fueron fabricado de madera, con el objetivo de evitar corto circuitos al someter al electrolito en el momento de activación de la fuente.

3.2.3. Construcción de la fuente de energía

La fuente de energía fue construida con un transformador, un puente de diodos, un capacitor y una resistencia conectados entre sí tal como muestra la Figura 1,

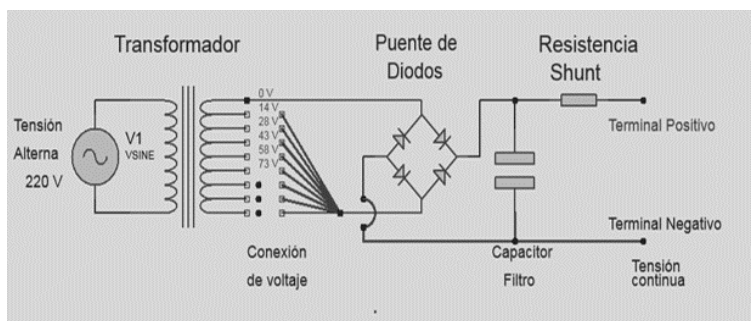


Figura 1. Diagrama eléctrico de la fuente de energía.

La fuente de energía tubo 4 valores de tensión eléctrica en alterna y continua y una corriente máxima en corriente continua descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Tensión y corriente de salida en la fuente de energía sin carga.

Voltaje y corriente eléctrica	Valores			
	1	2	3	4
Tensión alterna, sin carga.	15	30	45	60
Tensión continua, sin carga.	18.5	35.1	52.7	70.8
Corriente máxima continua, sin carga.	16.5	16.5	16.5	16.5

3.3. Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas de acuerdo “muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento” de la DIGESA. Para ello se empleó un recipiente de plástico de 16 litros. El recipiente fue lavado con abundante agua de caño y enjuagado con la misma agua de residual, previo a su recolección, en horarios de mayor flujo, para luego ser trasladado al laboratorio para su tratamiento según diseño estadístico.

3.4. Sometimiento de las muestras al sistema electrolítico

Las muestras contenidas en el recipiente de plástico fueron sometidas a los tratamientos mostrados según el diseño estadístico por cada objetivo específico, descritas a continuación.

3.4.1. Para el objetivo específico uno

Para el logro del objetivo específico 1 que busca “Determinar el efecto de la tensión eléctrica en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH de las aguas residuales del camal municipal de Anta” se empleó la Tabla 3, en cada tratamiento (T) se usó 1 litro de agra residual durante 30 minutos, la toma de muestras se realizó a los 30 minutos una vez finalizado el tratamiento.

Tabla 3. Diseño estadístico empleado para cada parámetro de estudio (temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH).

Tratamientos	Observaciones por parámetro			
	Obs.1	Obs.2	Obs.3	Obs.4
T-1 (18.5V)	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas
T-2 (35.1V)	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas
T-3 (52.7V)	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas
T-4 (70.8V)	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas	Tres réplicas

Para las mediciones de los parámetros en estudio se utilizó el instrumento multiparámetros marca: Hanna_3703, serie: HI98194 para el pH y conductividad y para la turbidez, el Turbidímetro LED TL2310, de 0 a 1000 NTU y para el tiempo un cronómetro.

Los electrodos fueron identificados con signos positivo y negativo para su polarización, a distanciados a 5 cm entre sí, la superficie que fue sumergido fue de 50 cm^2 por electrodo, las conexiones fueron realizadas tal como muestra la Figura 2.

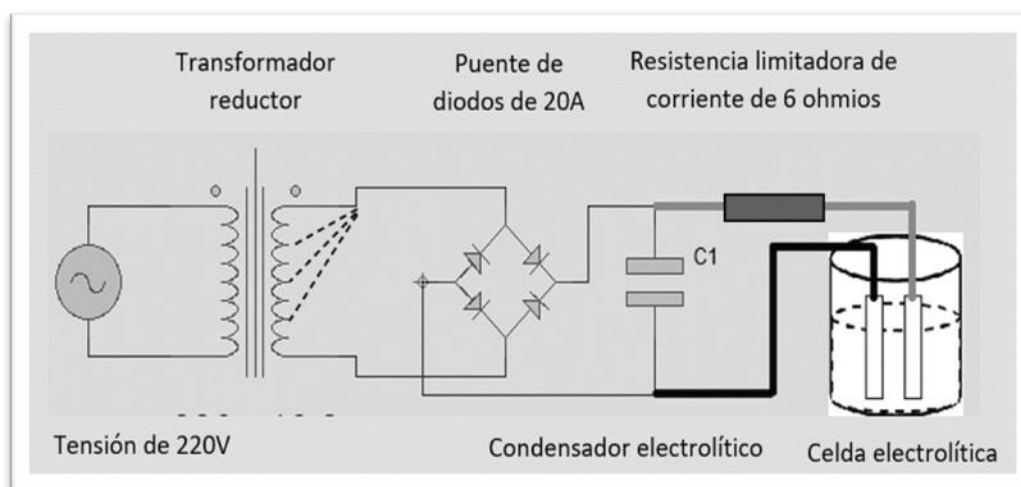


Figura 2. Diagrama del circuito eléctrico del sistema de la electrólisis.

3.5. Para el objetivo específico dos

Procedimiento: para el objetivo específico 2 “Verificar el comportamiento de la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH del agua residual del camal municipal de Anta en la línea del tiempo a diferentes niveles de tensión”, se empleó el diseño estadístico de la Tabla 4, las muestras fueron sometidos al sistema electrolíticos durante 60 minutos, por cada 10 minutos transcurrido se tomó sub muestras para realizar las mediciones de los parámetros estudiados.

Tabla 4. Diseño estadístico en línea del tiempo para cada parámetro de estudio (temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH).

Tratamiento	Observaciones de los parámetros por tratamiento tomados cada 10 minutos						
	Obs.1	Obs.2	Obs.3	Obs.4	Obs.5	Obs.6	Obs.7
T-1 (18.5V)							
T-2 (35.1V)							
T-3 (52.7V)							
T-4 (70.8V)							

Los electrodos tuvieron una distancia de 5cm, el área sumergida fue 50 cm^2 , por cada tratamiento se realizó tres réplicas, las mediciones se tomaron desde el minuto cero hasta el minuto 60, con intervalos de 10 minutos, todo ello, por cada nivel de tensión, de la misma manera que para el objetivo específico uno los electrodos se identificaron con signos de positivo y negativo, conectados según la Figura 2.

4. Resultados

4.1. Para el objetivo específico Uno

Previo al análisis de los resultados se realizó la prueba de normalidad, para ello se empleó el estadístico de prueba de Shapiro-Wilks, para datos menores a 50, cuya hipótesis fue: Hipótesis nula (H_0): Los datos siguen una distribución normal, Hipótesis alterna (H_A): Los datos no siguen una distribución normal, con el siguiente criterio, Se acepta la H_0 , si $p\text{-value} > \alpha$, por consiguiente, los datos de los parámetros siguen una distribución normal, ver la Tabla 5.

Tabla 5. Prueba de normalidad de los parámetros para, p -valué > 0.05 .

Parámetros	Nivel de voltaje			
	18,5 V	35,1 V	52,7 V	70,8 V
Temperatura (s)	0.10	0.10	0.10	0.10
Conductividad ($\mu S/cm$)	0.10	0.10	0.10	0.10
Turbidez (NTU)	0.10	0.10	0.10	0.10
pH	0.10	0.10	0.10	0.10

4.1.1. Análisis para la temperatura

Para verificar las diferencias significativas de la temperatura por nivel de tensión en las muestras de aguas residual tratadas, se empleó el análisis de varianza (ANOVA) a partir de los datos obtenidos mostrados en la Tabla 6, y como resultado del procesamiento del ANOVA, se obtuvo la Tabla 7, Al evaluar la temperatura por voltios, estas presentan diferencias significativas (valor $p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula).

Tabla 6. Promedio de las medidas de la temperatura en ($^{\circ}C$), tomadas a los 30 minutos por tratamiento y muestra.

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	17,67	17,00	17,67	18,33	70,67	17,67
T2	20,67	19,33	19,33	21,67	81,00	20,25
T3	23,33	25,00	22,33	24,33	95,00	23,75
T4	30,33	30,33	30,33	30,67	121,67	30,42
				Total	368,33	92,08

Tabla 7. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor para la temperatura

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F0	p
Tratamiento	76680,36111	3	25560,12037	3,85233269	0.001
Error	79619,67	12	6634,972222		
total	76689,28	15			

En la Figura 3, se observa que para diferentes niveles de tensión de: 18,5V; 35,1V; 52,7V y 70,8 V, la temperatura es diferente, por otra parte, los intervalos de confianza de la temperatura medidos en los tratamientos no se traslapan entre sí, y del mismo modo la temperatura expresa valores bajos para 18,5 V y valores altos para 70,8V, afirmando que la temperatura incrementa a aumentos del nivel de tensión.

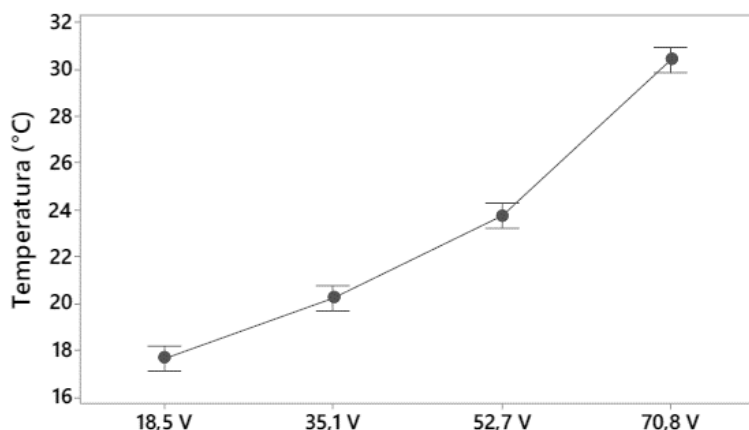


Figura 3. Temperatura por Voltio. Tomado del procesamiento de datos a través del Software Minitab versión 18

4.1.2. Análisis para la conductividad eléctrica.

Por otra parte, al evaluar el análisis de varianza de la conductividad eléctrica por voltio, a partir de la Tabla 8, se obtuvo la Tabla 9, donde indica que el (valor $p < 0,05$), por lo tanto, los tratamientos entre sí, presentan diferencias significativas, denunciando que si existe efecto de la tensión eléctrica en los niveles de la conductividad eléctrica.

Tabla 2. Promedio de las medidas de la conductividad eléctrica en ($\mu\text{S}/\text{cm}$), tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento.

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	427,93	403,30	398,42	417,43	1647,08	411,77
T2	352,21	334,54	331,15	331,42	1349,31	337,33
T3	362,99	363,23	363,78	364,81	1454,80	363,70
T4	335,77	335,32	335,71	332,90	1339,71	334,93
				Total	5790,89	1447,72

Tabla 9. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la conductividad eléctrica

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado medio	F0	p
Tratamiento	18878396,38	3	6292798,794	3,97407726	0.00
Error	19001539,38	12	1583461,615		
total	18879249,60	15			

Sin embargo, en la Figura 4, se observó que, para valores de 35,1V y 70,8V, la conductividad toma valores bajos y similares, y para el nivel de 18,5 V la conductividad, así como para el nivel de 52,7V, la conductividad toma valores de inferiores al producido por el nivel 18.5V y superiores a los producidos por 30.1V y 70.8V.

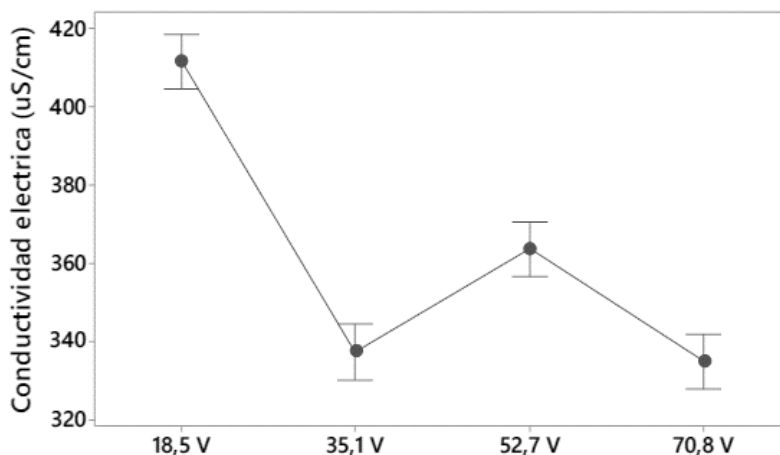


Figura 4. Conductividad eléctrica por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del Software Minitab versión 18

4.1.3. Análisis para la turbidez

Los datos presentes en la Tabla 10, obtenida de las mediciones fueron analizados con el ANOVA donde se obtuvo la Tabla 11, de dicha tabla el (valor $p < 0,05$), se deduce que los niveles de la turbidez presentan diferencias significativas entre sí.

Tabla 10. Promedio de las medidas de la turbidez en UNT del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de tratamiento.

Tratamiento	Observaciones				TOTAL	Promedios
	M1	M2	M3	M4		
T1	933,77	943,36	923,06	943,33	3743,52	935,88
T2	1162,37	1166,03	1168,84	1171,62	4668,85	1167,21
T3	1319,01	1314,18	1314,86	1318,08	5266,14	1316,53
T4	1358,81	1364,09	1368,33	1353,83	5445,07	1361,27
				Total	19123,57	4780,89

Tabla 11. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor, para la turbidez.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F0	p
Tratamiento	206153720,7	3	68717906,9	3,93264087	0.01
Error	209684766,62	12	17473730,55		
total	206154183,89	15			

En efecto al verificar la Figura 5, se observó que los niveles de la turbidez se incrementan por cada nivel de tensión desde el nivel bajo al nivel superior de tensión.

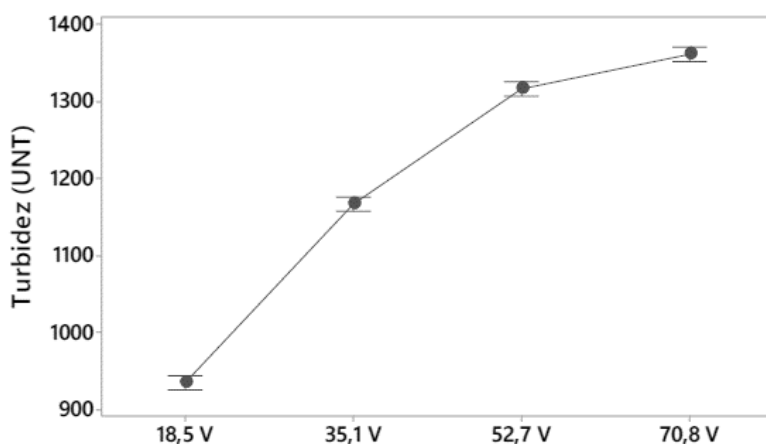


Figura 5. Turbidez por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

4.1.4. Análisis del potencial de hidrogeno (pH)

Por otro lado, al evaluar la Tabla 12, por el ANOVA se obtiene la Tabla 13, donde se observó que el (valor $p < 0,05$), de ello se deduce que los valores del pH presentan diferencias significancia entre sí, por tratamiento.

Tabla 3. Promedio de las medidas del pH del agua residual del Camal, tomadas a los 60 minutos después de los 30 minutos de sometimiento al proceso electrolítico

Tratamiento	Observaciones					
	M1	M2	M3	M4	TOTAL	Promedio
T1	6,67	6,67	6,77	6,77	26,87	6,72
T2	7,17	7,17	7,17	7,03	28,53	7,13
T3	7,33	7,47	7,47	7,23	29,50	7,38
T4	7,57	7,63	7,60	7,73	30,53	7,63
				Total	115,43	28,86

Tabla 134. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de un factor.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado medio	F0	p
Tratamiento	7497,053056	3	2499,017685	3,99219515	0,00
Error	7511,71	12	625,9758333		
total	7497,13	15			

Nota: obtenido a través del programa Minitab V-8

De la misma manera la Figura 6, da a conocer que para el nivel de 18.5V el pH tomo el menor valor y para el valor de 70,8V el valor del pH un valor superior a los originados por los niveles inferiores a este.

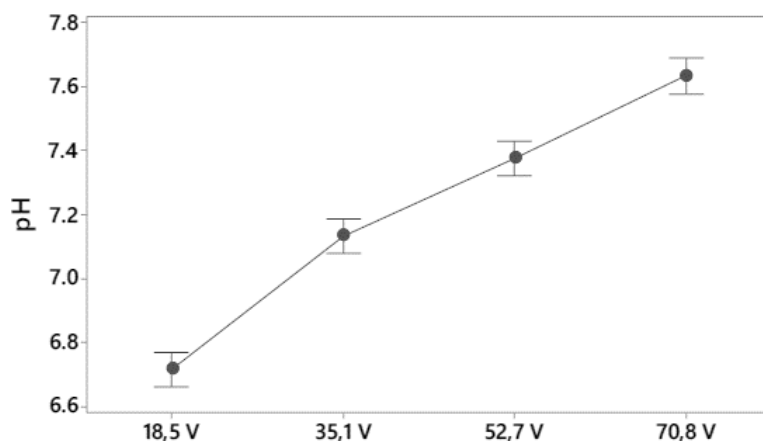


Figura 6. pH por Voltios. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

4.2. Para el objetivo específico 2

4.2.1. Análisis de la temperatura

Al evaluar los datos de la temperatura en la línea del tiempo mediante el análisis de varianza, se obtuvo la Tabla 14, donde se observa que el (valor $p < 0,05$), lo cual indica que los tratamientos presentan diferencias significativas.

Tabla 14. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la temperatura como un factor.

Fuente	GL	SC	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1558	519,22	26,03	0
Error	80	1596	19,95		
Total	83	3154			

Nota: obtenido a través del programa Minitab V-8

De la Figura 7, la temperatura se incrementa cuando la muestra está sometida al sistema electrolítico durante 60 minutos, independientemente del nivel de tensión.

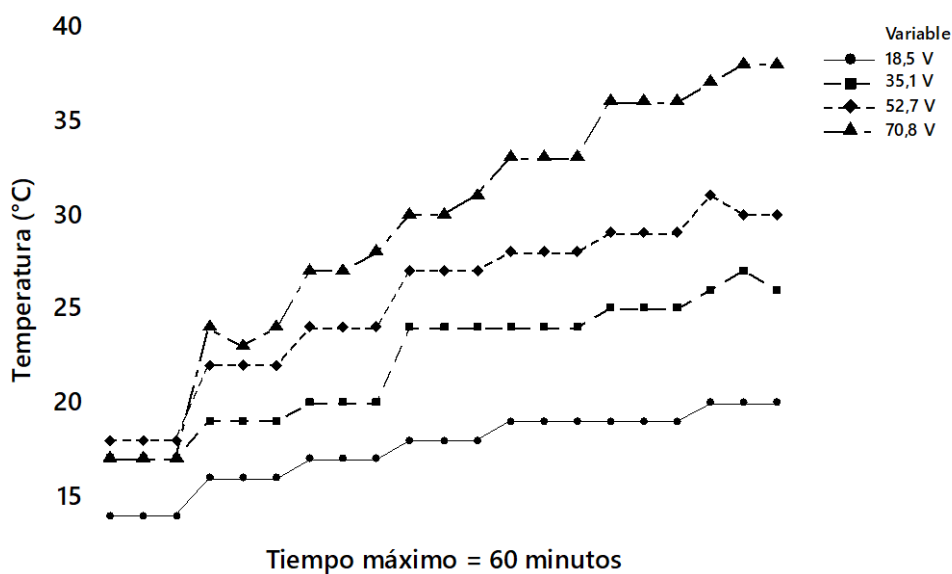


Figura 7. Temperatura por Voltios en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab V-18.

4.2.2. Análisis de la conductividad eléctrica

Para el análisis de los datos de la conductividad eléctrica en la línea del tiempo, se empleó el análisis de varianza, donde se obtuvo la Tabla 15, verificando el valor $p < 0.05$, de lo cual, se deduce que los valores de la conductividad eléctrica en los tratamientos son significativamente distintos.

Tabla 5. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la conductividad eléctrica como un factor

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	54271	18090	17,95	0
Error	80	80639	1008		
Total	83	134910			

Nota: obtenido a través del software Minitab versión-18

Sin embargo, al observar la Figura 8, se tiene que los valores de la conductividad eléctrica disminuyen cuando las muestras son sometidas al sistema electrolíticos independientemente de los niveles de tensión, durante 60 minutos.

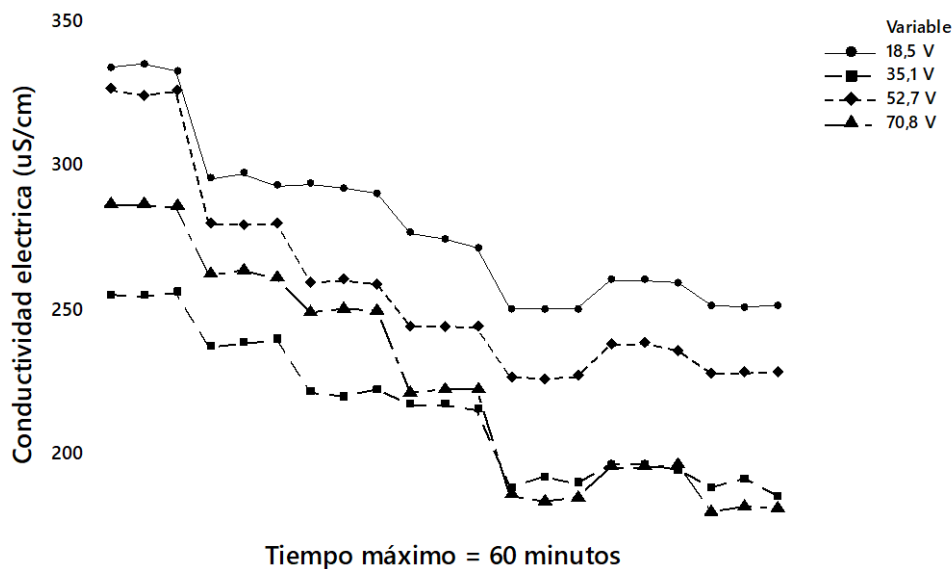


Figura 8. Conductividad eléctrica por Voltios en 60 minutos.

Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab V-18.

4.2.3. Análisis de la turbidez

En lo que respecta, al análisis de los datos de la turbidez en la línea del tiempo se realizó el análisis de varianza, obteniéndose la Tabla 16, donde muestra los resultados de la aplicación del Anova, donde el $p\text{-value} < 0.05$, lo cual indica que los tratamientos son significativamente diferentes.

Tabla 16. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis de la turbidez como un factor.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1539386	513129	11,26	0
Error	80	3644812	45560		
Total	83	5184197			

Nota: obtenido a través del software Minitab versión-18

Por lo cual, en la Figura 9, se observa que la turbidez incrementa durante los primeros los 30 minutos aproximadamente y que al pasar el tiempo existe cierta variación de descenso observándose más para el nivel de tensión de 70.8V, donde en este nivel se denuncia un decaimiento brusco de la turbidez dentro de los 60 minutos en la cual fue sometida las muestras.

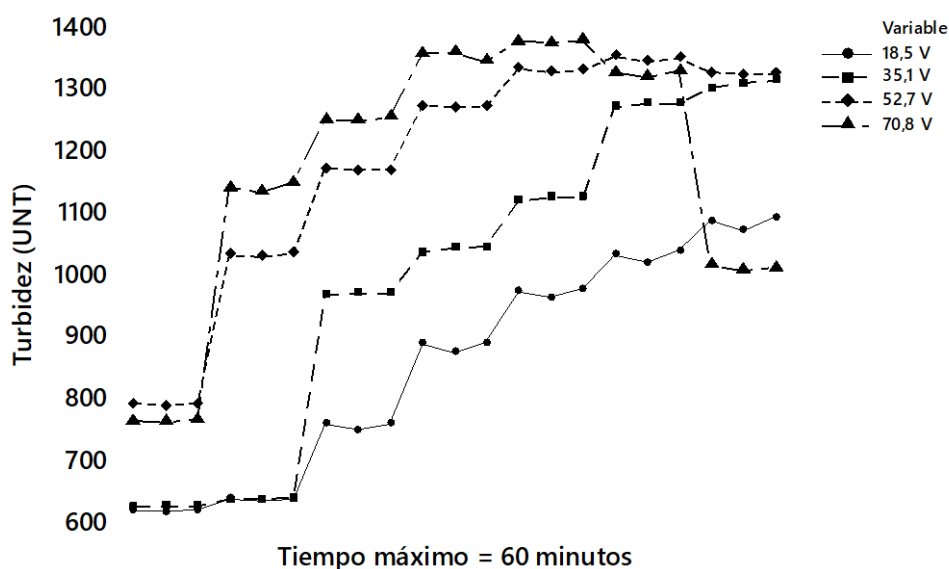


Figura 9. Turbidez por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

4.2.4. Análisis del potencial de hidrogeno (pH)

Para el análisis de los datos obtenidos de los tratamientos para la verificación del pH en la línea del tiempo se empleó el Anova, obteniéndose la Tabla 17, donde el valor $p < 0.05$, lo cual indica que los tratamientos son significativamente diferentes.

Tabla 6. Resumen de la varianza de los modelos de efectos físicos para el análisis del pH como un factor.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	13,23	4,4095	7,25	0
Error	80	48,64	0,608		
Total	83	61,87			

Nota: obtenido a través del software Minitab versión-18

No obstante, al observar la Figura 10, se tiene que el pH incrementa independientemente por nivel de tensión cuando las muestras fueron sometidas al sistema electroquímico durante 60 minutos.

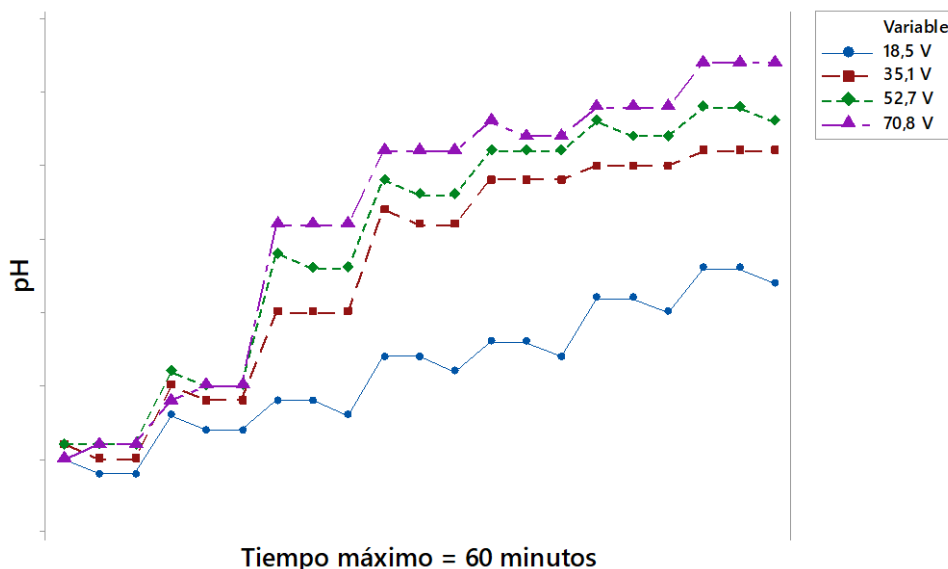


Figura 10. pH por Voltio en 60 minutos. Tomado del procesamiento de datos a través del software Minitab versión 18.

5. Conclusiones

Los valores observados en la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y pH de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta, han presentado variaciones para diferentes niveles de tensión del sistema electroquímico.

Los niveles de la temperatura y pH de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta incrementan independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico.

Los niveles de la conductividad eléctrica de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta disminuyen independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico.

Los niveles de la turbidez de las muestras del agua residual del camal municipal de Anta incrementan hasta un máximo luego tienden a descender a niveles inferiores e

independientemente por cada nivel de tensión en un lapso de 60 minutos una vez sometido al sistema electroquímico.

Bibliografía

- Barrera-Díaz, C., Roa-Morales, G., Bilyeu, B., Martínez, S. S., & Ureña-Núñez, F. (2014). Electrochemical treatment applied to wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 235, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.054>
- Bazrafshan, E., Mohammadi, L., Ansari-Moghaddam, A., & Mahvi, A. H. (2015). Heavy metals removal from industrial wastewater by electrocoagulation process: a comprehensive review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0233-9>
- Brillas, E., Sirés, I., & Oturan, M. A. (2009). An overview of the electrochemical advanced oxidation processes. *Chemical Reviews*, 109(12), 6570–6631. <https://doi.org/10.1021/cr900136g>
- Cañizares, P., Lobato, J., Paz, R., Rodrigo, M. A., & Sáez, C. (2009). Electrochemical oxidation of phenolic wastes with boron-doped diamond anodes. *Water Research*, 43(16), 4141–4150. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.05.031>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Comninellis, C. (1994). Electrocatalysis in the electrochemical conversion/combustion of organic pollutants for waste water treatment. *Electrochimica Acta*, 39(11-12), 1857–1862. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(94\)85175-1](https://doi.org/10.1016/0013-4686(94)85175-1)
- Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., & Djafarzadeh, N. (2004). Decolorization of basic dye C.I. Basic Yellow 28 from aqueous solution by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 112(1-2), 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.011>
- dos Santos, L. A., Silva, D. R., Ferreira, R. A., & Martínez-Huitle, C. A. (2016). Electrochemical technologies for the treatment of effluents containing organic

pollutants. *Environmental Chemistry Letters*, 14, 543–558.
<https://doi.org/10.1007/s10311-016-0566-4>

García-García, A., Ledesma, P. C., Chigo-Anota, E., & Romero, R. (2018). Treatment of industrial wastewater by electrocoagulation process using helical electrodes. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 903-914.
<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n3/Garcia>

Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling. *Desalination*, 404, 1-21.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>

Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355–367.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>

Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2018). Electrochemical techniques for the remediation of water and wastewater: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 11, 101–123.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>

Kobyas, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 100(1-3), 163-178. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00102-X)

Martínez-Huitle, C. A., & Brillas, E. (2009). Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 87(3–4), 105–145.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2008.09.017>

Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future: a review on electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199–210.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>

- Oturan, M. A., & Aaron, J. J. (2014). Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(23), 2577–2641. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829765>
- Panizza, M., & Cerisola, G. (2009). Direct and mediated anodic oxidation of organic pollutants. *Chemical Reviews*, 109(12), 6541–6569. <https://doi.org/10.1021/cr9001319>
- Radjenovic, J., & Sedlak, D. L. (2015). Challenges and opportunities for electrochemical processes as next-generation technologies for the treatment of contaminated water. *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11292–11302. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02414>

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2026 por **Juan Carlos Ticona Flores, Silverio Fischer Condori Chino, Luis Miguel Condori Ccama, Joel Kedin Condori Ccama**



[Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.